

## Новые конструкции токоподводящего узла катодной секции электролизера алюминия<sup>1</sup>

УДК 621.791.76:621.7.044.2

© А. П. Пеев, Ю. Г. Долгий, В. И. Лысак, С. В. Кузьмин, Е. А. Чугунов (*Волгоградский государственный технический университет*), М. П. Кононов (*ОАО «Волгоградский алюминий»*)

Современный уровень развития энергоемких отраслей производства, таких как химия, цветная, черная металлургия и др., предъявляет повышенные требования к показателю затрачиваемой электроэнергии на выпуск единицы продукции. Одним из возможных путей снижения удельного расхода электроэнергии является уменьшение электрических потерь в токоподводящих узлах силовых электротехнических устройств (электролизеров, сталеплавильных печей, коммутационных распределителей и др.).

При электролизе алюминия на ОАО «Волгоградский алюминий» большое количество электроэнергии теряется в катодных токоподводящих узлах электролизера, которые представляют собой массивные стальные стержни (блюмы), размещаемые в подовой части электролизера (рис. 1) и соединяемые с магистральным алюминиевым шинопроводом посредством пакетов гибких алюминиевых шин (спусков). В каждом электролизере в зависимости от его типа имеется 26–32 таких узла. В процессе электролиза падение напряжения на участке блюмс—спуск в каждом токоподводящем узле составляет 10–26 мВ при токе 5000 А, в связи с чем только на одном электролизере за год эксплуатации бесполезно теряется в среднем около 30000 кВт·ч электроэнергии [1].

В условиях ОАО «Волгоградский алюминий» спуски с магистральным шинопроводом соединяются сваркой плавлением угольным электродом, а с блюмсом — при помощи контактнойстыковой сварки с оплавлением и ударной осадкой. Получение качественного сварного соединения стального блюмса с гибким алюминиевым спуском затруднительно по ряду причин, наиболее

существенной из которых является металлургическая несовместимость свариваемой пары, поскольку Fe и Al, смешиваясь при расплавлении, образуют при затвердевании химические соединения, обладающие низкой электропроводимостью, высокой твердостью и малой пластичностью [2]. Контактная сварка оплавлением предусматривает выдавливание из сварного шва жидкой фазы, неметаллических включений и др., однако в данном случае удаление дефектов в полной мере невозможно, поскольку монолитный стальной стержень соединяется с пакетом тонких алюминиевых шин и оплавленный металл, который выдавливается из зоны соединения, вытесняется не только на периферию, но и в пространство между элементами пакета алюминиевых шин, приводя к загрязнению сварного шва различного рода включениями.

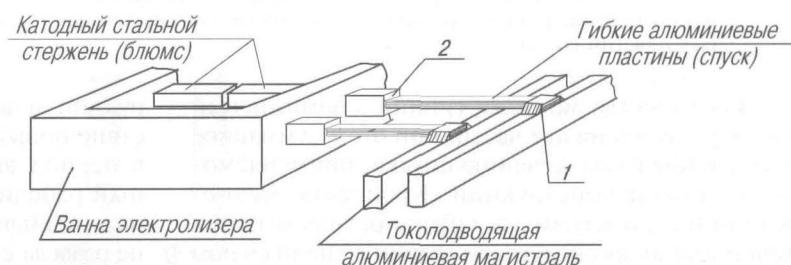


Рис. 1. Базовая конструкция катодного узла токоподвода электролизера алюминия, применяемая на ОАО «Волгоградский алюминий»:

1 — соединение, выполненное дуговой сваркой угольным электродом; 2 — соединение, выполненное контактнойстыковой сваркой с оплавлением и ударной осадкой

Кроме того, штатный токоподводящий узел является неразборным, в результате чего при демонтаже электролизера по истечении срока его службы гибкие алюминиевые спуски не подлежат дальнейшему использованию по прямому назначению.

Указанные выше недостатки базовой конструкции рассматриваемого узла обусловили потребность в разработке такой конструкции токоподвода, которая сочетала бы в себе высокие

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках программы «Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники».

электрофизические характеристики и была пригодна для многократного использования при монтаже новых электролизеров (средний срок эксплуатации электролизера на ОАО «Волгоградский алюминий» составляет 38 мес).

Предлагаемая конструкция токоподводящего узла (рис. 2) в отличие от базовой является разборной. Крепление гибкого алюминиевого спуска к катодному стержню осуществляется через биметаллическую медно-алюминиевую клемму, которая крепится болтовым соединением на фрезированной поверхности концевого участка блюмса медным слоем к стали (усиление затяжки болтового соединения не менее 10 МПа — данные ВАМИ). Для обеспечения хорошего электрического контакта перед сборкой узла на медную поверхность биметаллической клеммы наносится слой токопроводящей пасты (типа Суперконт) толщиной не более 1 мм, излишки которой при затяжке болтового соединения выдавливаются на периферию.

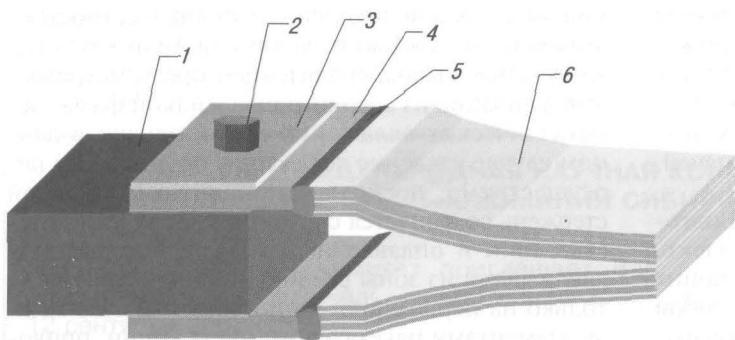


Рис. 2. Токоподводящий узел в сборе (вид сверху):

1 — блюмс; 2 — болтовое соединение; 3 — прижимная шайба; 4 — медно-алюминиевая клемма; 5 — сварной шов, выполненный аргонодуговой сваркой; 6 — набор гибких алюминиевых пластин (спуск)

Для удобства монтажа гибкий алюминиевый спуск разделен на две части, при этом суммарное его сечение равно сечению спуска, применяемого в базовой конструкции. Крепление медно-алюминиевой клеммы к спуску осуществляется при помощи аргонодуговой сварки в специальном кондукторе с водяным охлаждением, что позволяет избежать перегрева биметалла и образования на границе медь—алюминий диффузионных прошлой с пониженной электропроводимостью.

Медно-алюминиевая клемма представляет собой прямоугольную пластину размером 35×150×210 мм, на контактную поверхность которой при помощи сварки взрывом нанесена полоса меди толщиной 0,8–1,0 мм и размерами 150×140 мм для улучшения электроконтактных характеристик узла, поскольку контакт медь—сталь по сравнению со сталеалюминиевым имеет стабильно низкое электросопротивление перехода, не окисляясь и не корродируя со временем (при условии надежного плотного прилегания сопрягаемых поверхностей друг к другу) (рис. 3, а) [3].

Композиционная медно-алюминиевая клемма, изготовленная сваркой взрывом, имеет высокую прочность соединения слоев (на уровне наименее прочного металла пары — алюминия) при 100 %ной ее сплошности, отсутствии диффузионных переходных зон и интерметаллидных прослоек [3]. Как показали проведенные исследования электрофизических характеристик медно-алюминиевого биметалла, начальное электросопротивление зоны соединения близко к нулю и со временем практически не изменяется [4]. Для установившегося режима работы температура эксплуатации катодного токоподводящего узла электролизера алюминия, оснащенного медно-алюминиевой клеммой, не превышает 150 °С, что несколько ниже температуры эксплуатации базовой конструкции, для которой эта величина составляет 180–200 °С [5, 6].

Неоспоримым преимуществом новой конструкции токоподводящего узла по сравнению с базовой является возможность замены гибких спусков на действующем электролизере в случае их «перерезания» пролившимся электролитом, что ранее было неосуществимо.

На ОАО «Волгоградский алюминий» в период 1999–2001 гг. семь опытных электролизеров алюминия верхней серии были оснащены токоподводящими узлами разработанной конструкции (см. рис. 3, б) для выявления особенностей их эксплуатации в реальных условиях<sup>2</sup>. Измерение падения напряжения в токоподводящем узле проводили согласно схеме, представленной на рис. 4, а. После сборки узла токоподвода падение напряжения в зоне контакта составило ~3–5 мВ, что в среднем в 2,7 раза ниже соответствующих показателей для штатных узлов (см. рис. 4, б).

Как показал двухгодичный мониторинг токоподвода данной конструкции, в некоторых узлах блюмс—клемма вследствие повышения их температуры выше 200 °С в период выхода электролизера на стационарный рабочий режим (~10 сут) наблюдается рост падения напряжения из-за образования на границе раздела слоев биметалла медь—алюминий диффузионной зоны, обладающей пониженной электропроводимостью.

Кроме того, в результате теплового расширения элементов узла в пусковой период происходит смятие микронеровностей в резьбовом соединении, фрезированной поверхности концевого участка блюмса и контактной поверхности клеммы, что при выходе электролизера на стационарный режим работы вызывает ослабление контакта и, как следствие, приводит к увеличению падения на

<sup>2</sup> Авторы статьи выражают благодарность за содействие при проведении опытно-конструкторских работ сотрудникам ОАО «Волгоградский алюминий»: Л. А. Гаврилову, А. А. Каравайному.

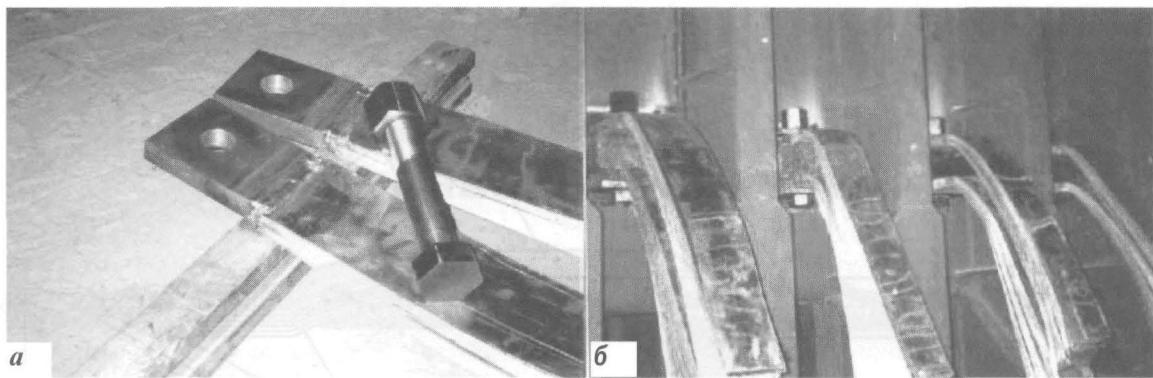


Рис. 3. Медно-алюминиевые клеммы с приваренными спусками (а). Токоподводящие узлы катодной секции электролизера алюминия в сборе (б)

пряжения на участке блюмс-клеммы до 6–9 мВ, это требует по истечении 3–4 сут после пуска эле-

ктролизера протяжки болтового соединения.

Улучшение температурно-временных условий работы медно-алюминиевой клеммы может быть достигнуто за счет исключения воздействия повышенных температур на медно-алюминиевое соединение путем увеличения расстояния между биметаллической частью последней и источником тепла (катодным стержнем). При этом конструкция медно-алюминиевой клеммы несколько отличается от вышеописанной. Новая клемма (пат. 2165483 РФ) состоит (рис. 5) из медной и алюминиевой пластин, соединенных между собой внахлест сваркой взрывом и образующих переходный элемент с площадью контакта на 10–20 % большее площади поперечного сечения алюминиевого спуска. Поперечное сечение алюминиевого слоя клеммы равно сечению алюминиевого спуска, площадь сечения медного слоя клеммы составляет 65–70 % от площади поперечного сечения алюминиевой токоотводящей шины, а площадь контакта клеммы со стальным блюмсом выбирается из условия обеспечения плотности тока, протекающего через этот контакт, не более  $0,2 \text{ A/mm}^2$ .

Расстояние, на которое должна быть удалена от торца блюмса зона соединения меди с алюминием в переходном элементе, чтобы температура его нагрева от источника тепла (блюмса) не превышала  $130^\circ\text{C}$  (коэффициент взаимной диффузии  $D$  для данной температуры нагрева, согласно данным [4], при которой не происходит образования диффузионной зоны, не превысит значения  $1 \cdot 10^{-13} \text{ см}^2/\text{с}$ ), определяли путем решения тепловой задачи [7]. Расчеты показали, что это расстояние должно быть

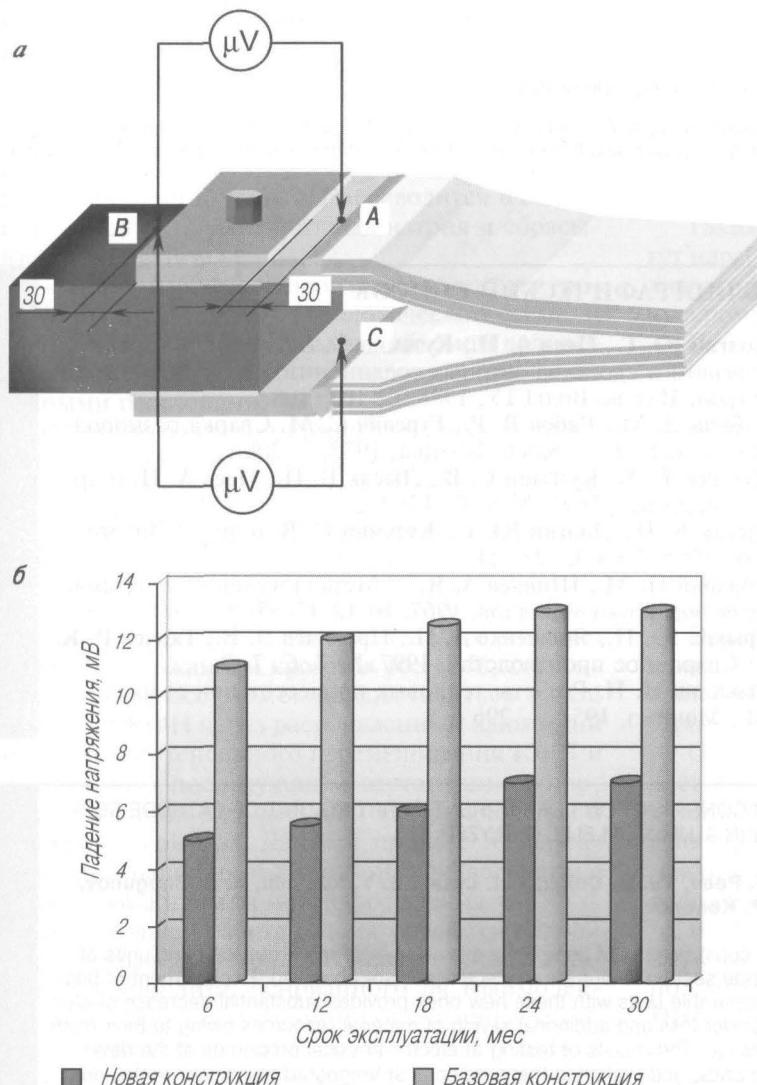


Рис. 4. Схема замера величины падения напряжения (а) и динамика ее изменения (б) на участке «спуск—блюмс» токоподводящего узла катодной секции электролизера в процессе эксплуатации при токовой нагрузке 5000 А

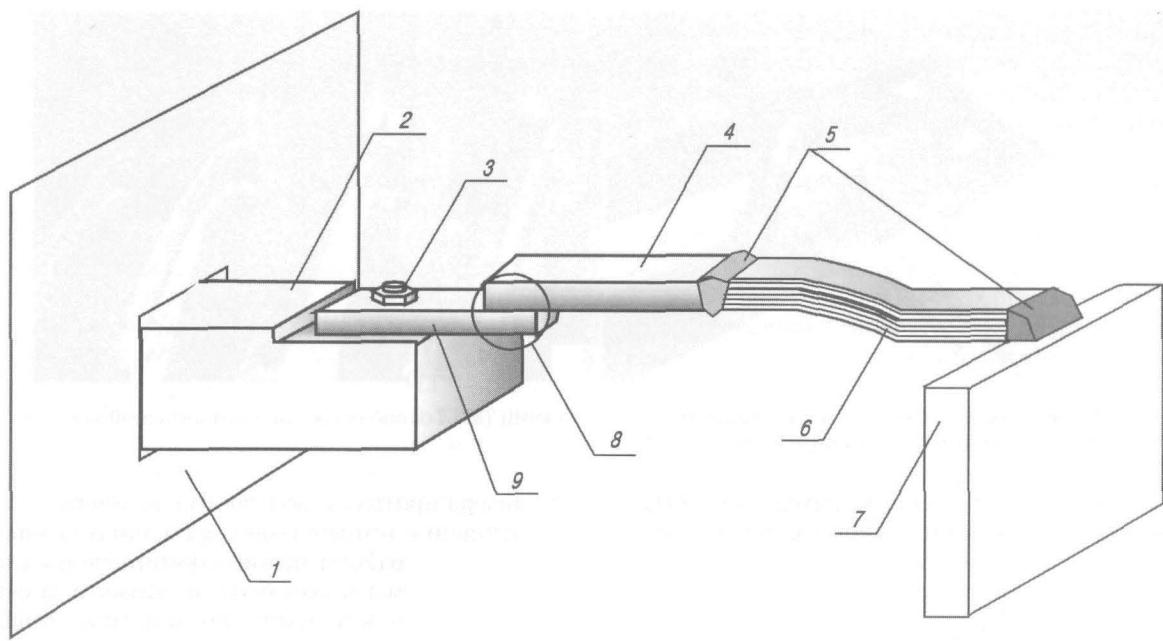


Рис. 5. Общий вид узла токоподвода катодной секции электролизера:

1 — подовая часть катодной секции электролизера; 2 — блюмс; 3 — болт; 4 — алюминиевая пластина; 5 — сварной шов; 6 — спуск; 7 — магистральная токоотводящая шина; 8 — переходный элемент; 9 — медная пластина

не менее 65 мм. Результаты измерения температуры переходного элемента тепловизором показали, что действительные значения температуры нагрева переходного элемента отличаются от расчетных не более чем на  $\pm 10^{\circ}\text{C}$ .

### Выводы

1. Внедренные конструкции токоподводящего узла катодной секции электролизера алюминия обеспечивают снижение потерь электроэнергии, а также дополнительную экономию материальных ресурсов за счет многократного использования гибкого алюминиевого спуска.

2. Область применения разработанных конструкций композиционных токоподводящих узлов не ограничивается их использованием в оборудовании для электролиза алюминия в том или ином варианте исполнения, вместе с тем данные разработки можно успешно внедрять в типовых токоподводящих узлах различных электротехнических устройств, состоящих из разнородных материалов.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Долгий Ю. Г., Пеев А. П., Кузьмин С. В. и др. // Сварка взрывом и свойства сварных соединений: Науч. тр. — Волгоград: Изд-во ВолгГТУ, 1998. С. 102—108.
- Рабкин Д. М., Рябов В. Р., Гуревич С. М. Сварка разнородных металлов. — Киев: Техника, 1975. — 208 с.
- Чугунов Е. А., Кузьмин С. В., Лысак В. И., Пеев А. П. и др. // Энергетик. 2001. № 9. С. 13—15.
- Лысак В. И., Долгий Ю. Г., Кузьмин С. В. и др. // Энергетик. 1995. № 4. С. 23—24.
- Воропай Н. М., Шиняев А. Я. // Металловедение и термическая обработка металлов. 1967. № 12. С. 55—57.
- Трыков Ю. П., Ярошенко А. П., Проничев Д. В., Ткачев Р. К. // Сварочное производство. 1997. № 7. С. 7—9.
- Рыкалев Н. Н. Расчеты тепловых процессов при сварке. — М.: Машгиз, 1951. — 296 с.

NEW CONSTRUCTIONS OF CURRENT-CARRYING UNIT OF CATHODE SECTION IN ALUMINIUM ELECTROLYZER

**A. P. Peev, Yu. G. Dolgii, V. I. Lysak, S. V. Kuz'min, E. A. Chugunov, M. P. Kononov**

New constructions of composite explosion-welded current-carrying units of cathode section in aluminium electrolyzer are observed. Replacement of basic nonseparable units with these new ones provides substantial decrease of electric power loss and additional saving of material resources owing to their multiple usage. The results of testing of electro-physical properties of the developed units, undertaken in the conditions of Volgograd aluminium works, are presented.